EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN TURÉN, ESTADO PORTUGUESA.

Abelardo Ospina[1], Adriana Florentino[1], Lorenzo Velázquez[2] y Daniel Araujo[2].
[1]Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, ospinaa@agr.ucv.ve y florentinoa@agr.ucv.ve. 2Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, lvelasquezmarquez@yahoo.com.

RESUMEN

En zonas donde la agricultura es de secano, la calidad física del suelo juega un papel esencial para los cultivos. La interacción entre condiciones climáticas agresivas, suelos susceptibles y sistemas de manejo inadecuados ocasionan problemas de degradación, que afectan negativamente a los cultivos y reducen la sostenibilidad de los sistemas de producción. Con base a esto, se evaluó el efecto de dos sistemas de labranza y rotaciones de cultivos sobre la calidad física del suelo después de 11 años. Las evaluaciones se realizaron en un suelo Fluventic Haplustept de Turén, estado Portuguesa. Los sistemas de labranza fueron labranza convencional y siembra directa, y las rotaciones incluían los cultivos maíz-algodón y maíz-frijol. Los resultados mostraron una mejor calidad en los suelos bajo siembra directa con rotación maíz-algodón, debido a un incremento en la estabilidad estructural y una mayor protección frente al clima.

Palabras claves: Siembra directa, llanos occidentales, degradación del suelo.

INTRODUCCIÓN

En la región de los Llanos, un aspecto limitante de la producción agrícola es la disponibilidad de agua. La ocurrencia de lluvias estacionales, erráticas, de alta intensidad y corta duración, junto a una alta evapotranspiración, reducen la posibilidad de obtener más de una cosecha al año cuando no se dispone de riego (Lobo y Gabriels, 2004). Bajo estas circunstancias, el suelo juega un papel esencial en el mantenimiento de la productividad, ya que interviene en la regulación del ciclo hidrológico.

Existe una cantidad importante de investigaciones relacionadas con el efecto de la implementación de diferentes sistemas de labranza y prácticas conservacionistas sobre las propiedades físicas del suelo (Espinoza *et al.*, 2007, Lipiec *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2006; Bronick y Lal, 2005; Gamez *et al.*, 2005, Pagliai *et al.*, 2004; Lozano *et al.*, 2000). No obstante, todavía existen muchas interrogantes al respecto, debido a las diferencias que se observan en el efecto de estas prácticas cuando varían factores como el tipo de suelo, historia de uso y manejo, tipo y profundidad de la labranza y el lapso de tiempo durante el cual se han implementado practicas conservacionistas (Rivero y Paolini, 1994). El presente trabajo tuvo por finalidad evaluar cambios en la calidad física de un suelo Fluventic Haplustept ubicado en la Colonia agrícola de Turén, después de haber sido sometido a diferentes sistemas de manejo durante 11 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se realizaron en el mes de julio de 2006, en la estación experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicada en el municipio Turén del estado Portuguesa. El suelo evaluado pertenece a la familia Fluventic

Haplustept, francosa fina, mixta, isohipertérmica y estuvo sometido a sistemas de labranza convencional antes del establecimiento del ensayo, por lo que presentaba claras evidencias de degradación de sus propiedades físicas (Ospina, 2009). El ensayo se instaló en 1995 y consta de cuatro tratamientos: T1: Labranza convencional con rotación Maíz – Algodón (LCMA); T2: Labranza convencional con rotación Maíz – Frijol (LCMF); T3: Siembra directa con rotación Maíz – Algodón (SDMA) y T4: Siembra directa con rotación Maíz – Frijol (SDMF). Los tratamientos se establecieron en parcelas de 10 m de ancho por 32 m de largo, arreglados en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones.

En cada parcela se ubicaron tres sitios de muestreo, en una cuadricula de 10 x 10 metros. La toma de muestras de suelo se realizó en los 5 cm superficiales del suelo, en el hilo de siembra, cerca de la base del tallo de las plantas de maíz. Las variables indicadoras fueron la macroporosidad (MAC), proporción de macroagregados estables al humedecimiento (AE250), carbono orgánico total (CO), biomasa aérea del cultivo de maíz al momento de realizar el muestreo (BIOM), cantidad de residuos en superficie (IRES) y capacidad de agua disponible (AD). El muestreo se realizó el 06 de junio de 2006, cuando el cultivo tenía 30 días de haber sido sembrado. La MAC (poros con diámetro equivalente mayor a 30 µm) se determinó en muestras de suelo no alteradas (cilindros de suelo de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura), siguiendo el procedimiento descrito por Vomocil (1965), la AE250 (proporción de agregados estables con diámetro equivalente > a 250 µm) se determinó utilizando un aparato de tamizado en húmedo marca Eijkelkamp, de acuerdo al procedimiento descrito por Kemper y Rosenau (1986) modificado por Florentino (2007). El CO se determinó por combustión húmeda siguiendo la metodología descrita por Allison (1965). La AD se determinó a partir de las curvas de retención de humedad, siguiendo la propuesta de Florentino (1998).

Para determinar la biomasa aérea se recolectaron en cada sitio cuatro plantas de maíz y se secaron en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante. Para evaluar la cantidad de residuos en superficie se utilizó una malla de alambre de superficie conocida. Posteriormente estos residuos se dejaron secar en estufa, a 65ºC hasta alcanzar peso constante, para finalmente expresar los resultados en términos de masa de residuos secos por unidad de superficie. La profundidad efectiva se evaluó mediante una excavación, cuando el cultivo de maíz se encontraba en floración.

Dado que estas variables se expresan en diferentes unidades y magnitudes fue necesario estandarizar los valores en un rango entre 0 y 1 utilizando la propuesta de Bolinder *et al.* (1999) para calcular el índice de calidad de suelos. La estandarización considera dos posibles relaciones entre el valor de referencia y el valor medido. La primera relación (más es mejor) considera que un incremento en el valor del indicador respecto al valor de referencia representa una mejora en la calidad del suelo y la segunda relación (menos es mejor) se aplicó en aquellos casos en donde una disminución en el valor del indicador puede asociarse también a una mejora en la calidad. Las ecuaciones empleadas son presentadas a continuación:

$$ICS = \frac{Vmin}{Vmed} \quad \text{(menos es mejor)}$$

$$ICS = \frac{Vmed}{Vmáx} \quad \text{(más es mejor)}$$

Donde *ICS* es el índice de calidad del suelo, *Vmed* es el valor medido del indicador en cada tratamiento, *Vmín* es el valor de referencia empleado para aquellos indicadores que se ajustaban a la relación “menos es mejor” y *Vmáx* es el valor de referencia empleado para aquellos indicadores que se ajustaban a la relación “más es mejor”.
El cuadro 1 presenta una síntesis de los indicadores relevantes, la función a la que están asociados y los valores de referencia empleados en su determinación.

Cuadro 1. Indicadores seleccionados, criterios y valores de referencia utilizados para la evaluación de la calidad física del suelo.

Indicador	**Relación empleada en la evaluación**	**Valores máximos y mínimos**		**Valor de referencia**
		Máximo	**Mínimo**	
MAC (%; v/v)	Más es mejor	10,69	4,02	10,69
AE250 (%; g/g)	Más es mejor	39,00	6,48	39,00
CO (gkg^{-1})	Más es mejor	30,86	9,11	30.86
BIOM($gplanta^{-1}$)	Más es mejor	39,90	18,60	39,90
AD (%)	Más es mejor	59,62	22,99	59,62

Los indicadores e índices fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza, seguido de una prueba de medias de Duncan con un nivel de significancia de 5% (p<0,05) utilizando el software Infostat versión 1.1 (Infostat, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 2 presenta los valores promedios y calificación de las propiedades físicas del suelo determinadas. Estos resultados reflejan el alto nivel de degradación presente en el suelo en todos los tratamientos (Florentino, 1989).

Cuadro 2. Efecto de diferentes sistemas de labranza y rotaciones de cultivo sobre algunos atributos físicos del suelo.

Tratamiento	Atributos del suelo							
	MAC		AE250		CO		AD	
	(%)	Clase	(%)	Clase	(gkg^{-1})	Clase	(%)	Clase
LCMA	$8,09^{a}$	Medio	$14,61^{b}$	Muy bajo	$17,47^{b}$	Alto	$37,99^{ab}$	Bajo
LCMF	$6,17^{b}$	Bajo	$18,38^{b}$	Muy bajo	$14,61^{b}$	Alto	$34,33^{b}$	Bajo
SDMA	$6,37^{b}$	Bajo	$26,59^{a}$	Bajo	$23,19^{a}$	Alto	$49,51^{a}$	Media
SDMF	$5,85^{b}$	Bajo	$20,60^{ab}$	Bajo	$17,16^{b}$	Alto	$44,70^{ab}$	Media

[ab] Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

Al comparar los tratamientos se observa mayor macroporosidad en LCMA y LCMF, lo que se asocia a la roturación resultante de la labranza (Lipiec et al., 2006). No obstante, esta mejora es relativa, ya que bajo estos tratamientos el suelo queda expuesto al impacto de las gotas de lluvia y tiende a sellarse y encostrarse, limitándose la funcionalidad de los macroporos para el intercambio y flujo de agua y aire (Pagliai et al., 2004, Hernández et al., 2002).
Al comparar la AE250 entre tratamientos, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tipos de labranza. Estos resultados indican que al cambiar hacia la siembra directa se produce un incremento en la estabilidad de los macroagregados al

humedecimiento, en respuesta a un aumento en el contenido de materia orgánica, a una menor destrucción de la estructura por la labranza y a una mayor protección de los agregados debido a la presencia de una capa de residuos vegetales en superficie (Singh y Malhi; 2006, Bronick y Lal, 2005; Maysoon and Rice, 2004; Pagliai et al., 2004; Hernández et al., 2002).

En relación al carbono orgánico total (CO), los valores obtenidos muestran un contenido adecuado en todos los tratamientos, observándose los valores más altos en el tratamiento SDMA y el menor contenido en el tratamiento LCMF. Los tratamientos SDMF y LCMA tuvieron contenidos similares. Estos resultados reflejan la influencia de un mayor aporte de materia orgánica asociado a la mayor acumulación de residuos bajo siembra directa, tal y como se puede apreciar en la figura 1, donde la mayor cantidad de residuos en superficie se ocurre en el tratamiento SDMA. Los altos valores reportados en el tratamiento de LCMA se deben principalmente a la gran cantidad de biomasa que aportan las plantas de algodón, sobre todo si se tiene en consideración que después de la cosecha estos residuos se dejan en el campo hasta la preparación de tierras del siguiente ciclo del cultivo de maíz.

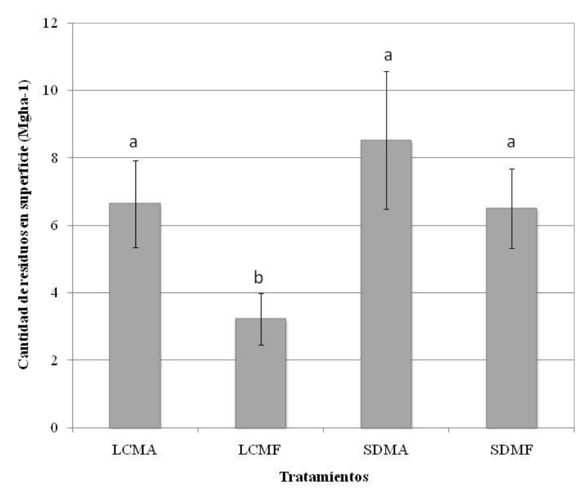


Figura 1. Cantidad promedio de residuos vegetales en superficie para los tratamientos evaluados durante la rotación ([ab] Superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$))

La capacidad de agua disponible (AD) en función de la máxima profundidad de enraizamiento para el cultivo de maíz (Cuadro 2), permite ver que la disponibilidad de agua en los tratamientos bajo siembra directa es ligeramente mayor que en los tratamientos bajo labranza convencional. Dentro de estos, el tratamiento que incluyen al algodón en la rotación presenta mayor disponibilidad de agua, probablemente debido a una mayor exploración radicular y roturación por parte de este cultivo. Los tratamientos SDMA y SDMF presentan una AD media y los tratamientos LCMA y LCMF fueron calificados como bajos, por lo los riesgos asociados a déficit hídricos son altos.

En el cuadro 3 se presentan los valores estandarizados de los indicadores empleados en la determinación del índice de calidad física del suelo. De acuerdo a los objetivos de esta investigación, cuando los valores se acercan más a “1” son un indicio de que la calidad del suelo está mejorando, mientras que si por el contrario se acercan a “0” estarían reflejando una condición menos favorable donde no hay una mejora razonable

en la calidad del suelo como respuesta al manejo. Con base a lo anterior se aprecia que el tratamiento con mejor calidad física del suelo para la mayoría de los indicadores fue SDMA, a excepción del I_{MAC}, el cual presentó una condición menos favorable respecto a LCMA y similar a LCMF. Esto puede explicarse debido al efecto residual de la labranza sobre la porosidad del suelo en los tratamientos que incluían la labranza convencional, tal y como se discutió anteriormente.

Cuadro 3. Estandarización de los indicadores para determinar el índice de calidad física de suelo (ICFS).

	Indicadores de calidad del suelo[1]					
Tratamiento	I_{MAC}	I_{AE250}	I_{CO}	I_{BIOM}	I_{IRES}	I_{AD}
LCMA	$0,79^{a}$	$0,37^{b}$	$0,57^{b}$	$0,71^{b}$	$0,58^{b}$	$0,64^{ab}$
LCMF	$0,60^{b}$	$0,47^{b}$	$0,47^{b}$	$0,55^{c}$	$0,28^{c}$	$0,58^{b}$
SDMA	$0,62^{b}$	$0,68^{a}$	$0,75^{a}$	$0,86^{a}$	$0,74^{a}$	$0,83^{a}$
SDMF	$0,57^{b}$	$0,53^{ab}$	$0,56^{b}$	$0,85^{a}$	$0,57^{b}$	$0,75^{ab}$

[ab] Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$)

El tratamiento que presentó la peor calidad física fue el tratamiento LCMF, lo cual es indicio del alto impacto negativo que puede tener este esquema de manejo, debido principalmente a la degradación por el uso excesivo de labranza, al bajo aporte de residuos orgánicos y al escaso grado de protección del suelo frente a la acción del clima. Al evaluar la biomasa aérea del cultivo de maíz a los 30 dds (I_{BIOM}) se puede observar una mejor condición en los tratamientos bajo siembra directa, lo cual pone en evidencia el efecto mejorador que ejerce la implementación de prácticas de manejo conservacionista sobre las propiedades físicas del suelo..

Cuando se determina el valor promedio del índice de calidad física de suelos (figura 2), se obtienen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo la mejor alternativa la SDMA (ICS = 0,75). Adicionalmente, los tratamientos SDMF y LCMA presentan valores similares del ICFS como resultado del mayor aporte de residuos orgánicos por parte del cultivo del algodón en comparación con el frijol. Finalmente el tratamiento LCMF no parece ser una alternativa tecnológica útil frente a los problemas de degradación existentes en la zona.

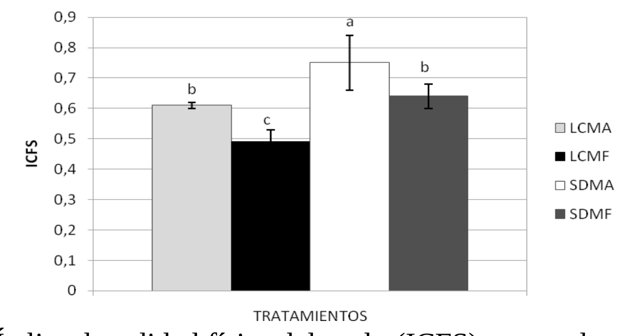


Figura 2. Índice de calidad física del suelo (ICFS) para cada tratamiento.

CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos demostraron que el uso de la siembra directa es una alternativa viable para mejorar la calidad física de estos suelos, y que combinada con el uso de

cultivos en rotación con especies como el algodón, ayuda a acelerar estas mejoras. No obstante, dadas las limitaciones particulares que presentan los suelos bajo estudio, la siembra directa por sí sola no es suficiente para recuperarlos en un período de tiempo razonable, a menos que se incluyan otras prácticas como la labranza profunda que permitan mejorar la calidad física del suelo, más allá de la capa superficial.

REFERENCIAS

ALLISON, L. E. 1965. Organic Carbon. En: Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. P. 545 – 566.

BOLINDER, M.A.; D.A. ANGERS; E. G. GREGORICH Y M.R. CARTER. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. Canadian Journal of Soil Science 79 (1-2): 37 – 45.

BRONICK, C.J., R. LAL. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124 (2005) 3 –22.

ESPINOZA, Y.; Z. LOZANO Y L. VELÁSQUEZ. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. Interciencia. Vol. 32 (8): 554 – 559.

FLORENTINO DE A. A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas de tres suelos representativos de Turén (Estado Portuguesa). Su incidencia Agronómica. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 207 p.

FLORENTINO DE A. A. 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 15 p.

FLORENTINO DE A. A. 2007. Método para evaluar la estabilidad de los agregados de suelo por tamizado en húmedo (Equipo Eijkelkamp) - Modificado. Laboratorio de Física de suelo, Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 4 p.

GAMEZ, J. A. FLORENTINO y E. ANDREU. 2005. Efecto de sistemas de labranza alternativos sobre la calidad física del suelo y el rendimiento de maíz en El Sombrero, estado Guárico. En: XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Maracay, estado Aragua, Venezuela. 5 pág.

HERNÁNDEZ, R. M. Y D. LÓPEZ H. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: Un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos. Interciencia. Vol. 57 (10): 529 – 536.

INFOSTAT (2002). InfoStat, versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

LIPIEC, J.; J. KÚS; A. SLOWINSKA-JURKIEWICZ; A. NOSALEWICS. 2006. Soil Porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. Soil and Tillage Research. 89: 210 – 220.

LOBO, D. y D. GABRIELS. 2004. Estimación de la erosividad y concentración de la precipitación en dos zonas agrícolas de Venezuela. En: Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cartagena de Indias, Colombia, Septiembre 26 al 01 de Octubre. Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo, 4 p.

LOZANO, Z., D. LOBO e I. PLA. 2000. Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los llanos occidentales venezolanos. Bioagro 12 (1):15 – 24.

MAYSOON, M. M.; CH. RICE. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 809-816.

OSPINA, A. 2009. Evaluación de la calidad física e hidrológica del suelo mediante el uso de indicadores bajo diferentes sistemas de manejo en Turén, edo. Portuguesa. Trabajo de ascenso para optar a la categoría de Asistente. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV. 112 p.

PAGLIAI, M.; N. VIGNOZZI; S. PELLEGRINI. 2004. Soil Structure and the effects of management practices. Soil & Tillage Research. 79 (2004) 131 – 143.

RIVERO, C. Y J. PAOLINI. 1994. Efecto de incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. Venesuelos 2(1): 26-31.

SINGH, B. Y S.S. MALHI. 2006. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. Soil and Tillage Research. 85: 145 – 153.

TORRES, D.; A. FLORENTINO Y M. LÓPEZ. 2006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. Bioagro 18(2): 83 – 91.

VOMOCIL, J. 1965. Porosity. En: Methods of soil analysis. Part 1. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. P. 299 – 314.